



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 43 131 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
F 02 M 33/00
F 02 B 51/00
F 02 M 25/10
F 02 D 21/10

②① Aktenzeichen: 199 43 131.0
②② Anmeldetag: 9. 9. 1999
④③ Offenlegungstag: 30. 3. 2000

DE 199 43 131 A 1

③⑩ Unionspriorität:
100021 11. 09. 1998 US

⑦① Anmelder:
Caterpillar Inc., Peoria, Ill., US

⑦④ Vertreter:
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

⑦② Erfinder:
Richards, Randall R., Chillicothe, Ill., US; Chanda,
Ashok A., Peoria, Ill., US; Vachon, John T., Peoria,
Ill., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren und System zur Sauerstoffeinspritzung spät im Zyklus bei einem Verbrennungsmotor

⑤⑦ Ein Verfahren und ein System für die Einspritzung von sauerstoffangereicherter Luft spät im Zyklus in die Brennkammer eines Verbrennungsmotors wird offenbart. Das System zur Sauerstoffeinspritzung spät im Zyklus ist Teil eines Luftflußmanagementsystems, welches wirkungsvoll die Anwendung von Sauerstoff und Stickstoff steuert, die in der Einlaßluft verfügbar sind. Das bevorzugte System weist eine Einlaßlufttrennvorrichtung auf, die geeignet ist, um einen vorgeschriebenen Teil der Einlaßluft in einen Fluß von sauerstoffangereicherter Luft und einen Fluß von stickstoffangereicherter Luft aufzutrennen. Das System weist eine Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft auf, die sich von der Einlaßlufttrennvorrichtung zu einer oder mehreren Brennkammern erstreckt, und eine Steuervorrichtung, die geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammern spät in einem Verbrennungszyklus zu steuern, und zwar ansprechend auf ausgewählte Motorbetriebszustände, wie beispielsweise die Motordrehzahl oder die Motorbelastung oder beides. Vorzugsweise tritt die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät in einem Verbrennungszyklus auf, und zwar bei einem Kurbelwellenwinkel zwischen ungefähr 20° und 120° nach dem oberen Totpunkt, und dauert für ein vorgeschriebenes Zeitintervall zwischen ungefähr 5° und 20° der Kurbelwellenwinkelbewegung an.

DE 199 43 131 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und ein System für die Sauerstoffeinspritzung spät im Zyklus bei einem Verbrennungsmotor, und insbesondere auf ein Motorluftflußmanagementsystem, welches die speziellen Anwendungen von sauerstoffangereicherter Luft zur Verringerung der Motorverschmutzung und der Steigerung der Motorleistung vorsieht. Insbesondere sieht das vorliegende Luftflußmanagementsystem die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer während der späteren Stufen des Verbrennungszykluses vor.

Technischer Hintergrund

In den letzten Jahren sind Hersteller von Motoren mit immer weiter steigenden Regulierungsanforderungen konfrontiert worden. Diese Anforderungen sind hauptsächlich auf zwei Aspekte der Motorleistung gerichtet gewesen, nämlich auf Brennstoffeinsparung und Abgasemissionen. Abgasemissionen nehmen eine Anzahl von Formen an, einschließlich Partikelstoffen und Stickoxiden (NOx). Wie in der Technik allgemein bekannt, bestehen Partikelstoffe hauptsächlich aus unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Ruß, während NOx eine ungewisse Mischung von Stickoxiden (hauptsächlich NO und ein Teil NO₂) sind. Unterschiedliche Formen von Luftflußmanagementsystemen sind verwendet worden, um diese Charakteristiken zu verbessern.

Ein wohlbekanntes Verfahren zur Verringerung des Brennstoffverbrauches ist es, die Luftmenge im Zylinder zu steigern. Typischerweise ist dies durch Unterdrucksetzen der Luft durchgeführt worden, die in die Brennkammer eingeführt wird. Das Hauptziel dieses Unterdrucksetzens ist es, den zur Verbrennung verfügbaren Sauerstoff zu steigern. Andere haben die Konzentration des Sauerstoffes in der Verbrennungsluft unter Verwendung von Lufttrenntechniken gesteigert. Es sei beispielsweise hingewiesen auf das US-Patent 5,649,517 (Poola und andere) ausgegeben am 22. Juli 1997, welches die Anwendung einer halbdurchlässigen bzw. semi-permeablen Gasmembran offenbart, um einen Teil des Stickstoffes aus dem Einlaßluftfluß zu entfernen, um eine sauerstoffangereicherte Luftversorgung zu erzeugen. Es sei auch hingewiesen auf das US-Patent 5,526,641 (Sekar und andere) und 5,640,845 (Ng und andere) die ähnliche Lufttrennungstechniken zur Erzeugung von sauerstoffangereicherter Luft genauso wie von stickstoffangereicherter Luft offenbaren. Eine weitere Offenbarung bezüglich damit verwandter Technik von Interesse ist das US-Patent 5,553,591 (Yi) ausgegeben am 10. September 1996, die ein Verwirbelungslufttrennsystem zur Erzeugung von sauerstoffangereicherter Einlaßluft zeigt, um die während der Verbrennung erzeugte Leistung zu steigern. Die Einleitung von sauerstoffangereicherter Einlaßluft während des Einlaßhubes erleichtert die Verbrennung eines größeren Teils des eingespritzten verfügbaren Brennstoffes, was wiederum die Leistungsausgabe für jeden Verbrennungszyklus oder die Ladung steigert, und im allgemeinen den spezifischen Übergangs- bzw. Durchschnittsbrennstoffverbrauch (BSFC = break specific fuel consumption) verringert. Ein niedrigerer BSFC steht stark im Zusammenhang mit der Verringerung von unverbranntem Brennstoff.

Die Manipulation oder Steuerung des Luftflußsystems innerhalb eines Motors ist auch zum Zwecke der Verringerung von Emissionen wie beispielsweise von Partikeln und NOx versucht worden. Die meisten während des Verbrennungszykluses erzeugten Partikel bilden sich relativ früh im Ver-

brennungszyklus, jedoch verbrennen solche sich früh formenden Partikel gewöhnlicherweise, wenn die Temperatur und der Druck während des Verbrennungszykluses steigen. Die Partikel, die typischerweise in den Abgasstrom eintreten, tendieren dazu, sich im späteren Teil des Verbrennungszykluses zu bilden, wenn der Druck und die Temperatur abnehmen. Zusätzlich zum sinkenden BSFC dient die Steigerung des Einlaßluftsaurestoffgehaltes dazu, die Menge der unverbrannten Kohlenwasserstoffe zu reduzieren, und zwar durch Steigerung der Wahrscheinlichkeit der vollständigen Verbrennung.

Die Nachbehandlung von Abgas ist bei der Verringerung der Menge von unverbranntem Kohlenwasserstoff nützlich. Nachbehandlungsverfahren unternehmen Schritte, um die Oxidation der unverbrannten Kohlenwasserstoffe fortzuführen. Eine Weise ist die Einleitung einer sekundären Luftversorgung in den Abgasstrom. Dieser sekundäre Luftstrom liefert mehr Sauerstoff an das schon auf hoher Temperatur befindliche Abgas, was eine weitere Oxidation sicherstellt. Während die Anwendung von Sekundärluft bei der Eliminierung von Partikeln wirksam ist, erzeugt ein Sekundärluftsystem eine höhere Temperatur im Abgassystem. Die Auslegung des Abgassystems auf diese höheren Temperaturen erfordert, daß die Komponenten der heißeren Umgebung widerstehen können. Diese Komponenten sind oftmals schwerer, teurer oder erfordern häufige Instandhaltung.

Während die Partikelerzeugung im allgemeinen zusammen mit dem Brennstoffverbrauch sinkt, steigt die NOx-Erzeugung im allgemeinen. NOx bildet sich, wenn sich Stickstoff bei einer höheren Temperatureinstellung mit übermäßigem Sauerstoff vermischt, welcher nicht im Verbrennungsprozeß verwendet wurde. Während somit übermäßiger Sauerstoff und hohe Verbrennungstemperaturen bei der Verringerung des Brennstoffverbrauches nützlich sind, ist eine solche Kombination schädlich bezüglich der gesteigerten NOx-Bildung. Dieser Konflikt führt im allgemeinen dazu, daß Motorhersteller genau die NOx-Erzeugung mit dem BSFC bzw. dem durchschnittlichen Brennstoffverbrauch und den Partikelteilen ausbalancieren, um die Emissionsregeln zu erfüllen. Die vorliegende Erfindung löst zumindest teilweise den fortgesetzten Konflikt zwischen der Verringerung der Partikel, der Verringerung von NOx und der Verringerung des durchschnittlichen Verbrauches bzw. BSFC.

Die Abgasrückzirkulation (EGR = Exhaust Gas Recirculation) ist eine Art des Luftflußmanagements, welches gegenwärtig im Gebrauch ist, um die NOx-Bildung innerhalb des Verbrennungszyklinders zu verringern. Die Abgasrückzirkulation verringert die verfügbare Sauerstoffmenge zur Bildung von NOx. Durch Verringerung der Sauerstoffmenge wird der Verbrennungsprozeß auch verlangsamt, wodurch die Spitzentemperaturen in der Brennkammer verringert werden. Abgasrückzirkulationssysteme verwenden typischerweise Abgas, jedoch zeigt Poola die Verwendung einer angereicherten Stickstoffquelle anstelle von Abgas, um Sauerstoff in der Brennkammer zu ersetzen. Der angereicherte Stickstoff ist sowohl reiner als auch kühler als Abgas.

Genauso wie die Verringerung der Partikelteilchen können NOx-Emissionen unter Verwendung von verschiedenen Nachbehandlungsverfahren verringert werden. Beispielsweise zeigen die Veröffentlichungen von Poola und anderen, Sekar und anderen und Ng und anderen, alle ein Nachbehandlungssystem, welches eine angereicherte Stickstoffversorgung zur Verringerung von NOx verwendet. Wie dort offenbart, ist die angereicherte Stickstoffversorgung einer Funkenquelle zur Bildung von Stickstoffplasma ausgesetzt. Die Einleitung des Stickstoffplasmastroms in den Abgasstrom hat eine chemische Reaktion zur Folge, die Stickstoffgas und Sauerstoffgas bildet.

Aus der obigen Besprechung scheint es wohlbekannt, daß sauerstoffangereicherte Luft und stickstoffangereicherte Luft eine Anzahl von vorteilhaften Anwendungen in einem Verbrennungsmotor und insbesondere in einem Dieselmotor haben. Jedoch sind diese Anwendungen nicht immer gegenteilig. Auch die Erzeugung von sauerstoffangereicherter Luft und stickstoffangereicherter Luft erfordert Energie. Diese Energieanforderungen setzen der Verfügbarkeit von angereicherter Luft eine Grenze. Genauso wie irgendeine begrenzte Quelle muß die angereicherte Luft wirkungsvoll eingeteilt werden. In diesem Fall muß das Luftflußmanagementsystem Leistungsanforderungen, Partikelbildung und NOx-Erzeugung im Lichte der Emissionsregelungen und der Bedieneranforderung priorisieren. In den meisten Situationen kann ein Faktor (beispielsweise Leistung, Partikel oder NOx) über die anderen Faktoren dominieren. Was daher benötigt wird, ist ein Luftflußmanagementsystem, welches effektiv die Emissionen und die Brennstoffverbrauchsanforderungen eines Verbrennungsmotors wie beispielsweise eines Dieselmotors ausbalanciert. Beispielsweise können unter gewissen Betriebsumständen die NOx-Emissionen unter Verwendung von Stickstoff anstelle von Abgas in einem Abgasrückführungssystem verringert werden, oder durch Verwendung von Stickstoff innerhalb des Nachbehandlungsverfahrens, oder durch beides. Bei anderen Gelegenheiten könnte angereicherter Sauerstoff erforderlich sein, um entweder die Leistung zu steigern oder Partikel zu senken. Die vorliegende Erfindung ist darauf gerichtet eines oder mehrere der oben dargelegten Probleme zu überwinden.

Zusammenfassung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung ist ein Verfahren und ein System für die Einspritzung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer eines Verbrennungsmotors spät im Zyklus. Wie hier offenbart, ist das System zur Sauerstoffeinspritzung spät im Zyklus ein Luftflußmanagementsystem, welches eine Einlaßlufttrennvorrichtung aufweist, die geeignet ist, um einen vorgeschriebenen Teil der Einlaßluft in einen Fluß von sauerstoffangereicherter Luft und einen Fluß von stickstoffangereicherter Luft zu trennen. Das System weist eine Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft auf, die sich von der Einlaßlufttrennvorrichtung zu einer Brennkammer erstreckt, und eine Steuervorrichtung, die geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät in einem Verbrennungszyklus zu steuern, und zwar ansprechend auf ausgewählte Motorbetriebszustände, wie beispielsweise die Motordrehzahl oder die Motorbelastung oder beides.

Vorzugsweise tritt die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät im Verbrennungszyklus auf, und zwar bei einem Kurbelwellenwinkel zwischen ungefähr 20° und 120° nach dem oberen Totpunkt und dauert für ein vorgeschriebenes Zeitintervall zwischen ungefähr 5° und 20° Kurbelwellenwinkelbewegung an.

In dem offenbarten Ausführungsbeispiel weist die Einlaßlufttrennvorrichtung eine selektiv permeable Membranvorrichtung auf, die geeignet ist, um Stickstoff von der Einlaßluft zu trennen, und stickstoffangereicherte Luft bei einem ersten Auslaß und sauerstoffangereicherte Luft bei einem zweiten Auslaß zu erzeugen. Die Einlaßlufttrennvorrichtung weist auch einen Einlaßluftantrieb auf, der geeignet ist, um den Teil der Einlaßluft durch die selektiv durchlässige Membranvorrichtung zu drücken.

Die Erfindung kann auch als Verfahren zur Verringerung von Partikelemissionen von einem Druckzündungsmotor charakterisiert werden, wobei das Verfahren folgende

Schritte aufweist: (a) Betrieb der normalen Einlaß- und Kompressionshübe des Druckzündungsmotors, die das Einleiten einer Ladung von Einlaßluft von der Einlaßsammlung in die Brennkammer aufweist, das Komprimieren der Ladung von Einlaßluft in der Brennkammer, das Einleiten von Brennstoff in die Brennkammer und die Zündung der Mischung aus Brennstoff und der Ladung von komprimierter Einlaßluft, um expandierendes Abgas innerhalb der Brennkammer zu bilden; (b) Einleiten einer Ladung von zusätzlicher sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät in einem Verbrennungszyklus nach der Zündung der Mischung des Brennstoffes und der Ladung von komprimierter Einlaßluft, wobei die Ladung der zusätzlichen sauerstoffangereicherten Luft mit den Abgasen reagiert, die in der Brennkammer vorhanden sind, um Abgas mit einem verringerten Partikelgehalt zu bilden; und (c) Bewegung der Kolbenanordnung innerhalb des Zylinders, um die Abgase mit dem verringerten Partikelgehalt aus der Brennkammer zum Abgassystem herauszudrücken.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die obigen und andere Aspekte, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden spezielleren Beschreibung davon offensichtlich, die in Verbindung mit den beigelegten Zeichnungen dargelegt wird, wobei die Figuren folgendes abbilden:

Fig. 1 ein schematisches Diagramm eines Verbrennungsmotors, der das Luftflußmanagementsystem gemäß der vorliegenden Erfindung vorsieht;

Fig. 2 eine detailliertere Ansicht einer Brennkammer und eines Luftflußmanagementsystems des Motors der **Fig. 1** und die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät im Verbrennungszyklus.

Fig. 3 eine Kurvendarstellung eines typischen Zylinderdruckes gegenüber der Zylinderlage für den Motor der **Fig. 1**, die weiter graphisch die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft spät im Verbrennungszyklus abbildet;

Fig. 4 eine Kurvendarstellung einer typischen Zylindertemperatur gegenüber der Kolbenlage für den Motor der **Fig. 1**, die weiter graphisch die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft spät im Verbrennungszyklus abbildet;

Fig. 5 eine graphische Simulation des NOx-Gehaltes innerhalb eines Zylinders gegenüber der Kolbenlage, die weiter die Effekte der Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft spät im Verbrennungszyklus abbildet;

Fig. 6 eine graphische Simulation des Rußgehaltes innerhalb eines Zylinders gegenüber der Kolbenlage, die weiter die Effekte der Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft spät im Verbrennungszyklus abbildet; und

Fig. 7 eine graphische Simulation des in einen Zylinder eingespritzten und verbrannten Brennstoffes gegenüber der Kolbenlage, die weiter die Effekte der Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft spät im Verbrennungszyklus abbildet.

Entsprechende Bezugszeichen bezeichnen entsprechende Komponenten in den verschiedenen Ansichten der Zeichnungen.

Bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung

Die vorliegende Beschreibung handelt vom besten Weg, der gegenwärtig zur Ausführung der Erfindung in Betracht gezogen wird. Diese Beschreibung soll nicht im einschränkenden Sinne aufgenommen werden sondern ist nur zum Zwecke der Beschreibung der allgemeinen Prinzipien der Erfindung gedacht. Der Umfang und die Breite der Erfindung sollten mit Bezugnahme auf die Ansprüche bestimmt

werden.

Mit Bezug auf die Zeichnungen und insbesondere auf **Fig. 1** ist ein schematisches Diagramm eines Luftflußmanagementsystems **10** für einen Verbrennungsmotor gezeigt, der ein Lufteinlaßsystem besitzt, welches eine Einlaßluftleitung **12**, eine Einlaßsammelleitung **14**, einen Abgas getriebenen Turbolader **16**, einen Luft-Luft-Nachkühler (ATAAC = air to air aftercooler) **18** aufweist, weiter ein Abgassystem, welches eine Abgassammelleitung **20** aufweist, eine primäre Abgasleitung **22** und optional eine Abgasrückzirkulations- (EGR-) Leitung **24**, einen EGR-Kühler **26**, eine Partikelfalle **28** und ein Nachbehandlungsuntersystem **30**; und einen Hauptverbrennungsabschnitt **32**, der unter anderen Elementen eine Vielzahl von Verbrennungszyindern aufweist, die jeweils eine (nicht gezeigte) damit assoziierte Brennstoffeinspritzvorrichtung besitzen, einen Einlaßanschluß, einen Einlaßventil, einen Auslaßanschluß, ein Auslaßventil und einen hin und her beweglichen Kolben, der innerhalb des Zylinders bewegbar ist, um die Brennkammer **34** zu definieren. Der Motor weist auch ein Motorsteuermodul (ECM = engine control module) **36** auf, um betriebsmäßig die Brennstoffeinspritzung und die Luftsystemventilvorgänge zu steuern, und zwar ansprechend auf einen oder mehrere gemessene Motorbetriebsparameter, die als Eingangsgrößen für das elektronische Steuermodul **36** verwendet werden. Ein Verbrennungsmotor kann in einer Anzahl von unterschiedlichen Motorkonfigurationen erscheinen, wie beispielsweise "Reihenmotoren" und "V-Motoren". Das offenbarte Einlaßluftmanagementsystem ist ungeachtet der Motorkonfiguration betreibbar.

Wie in **Fig. 1** zu sehen, ist die Einlaßluftleitung **12** in Flußverbindung mit dem Einlaßlufteingang **40**, dem Kompressor **42** des abgasbetriebenen Turboladers **16** und dem ATAAC **18**. Obwohl das vorhandene Einlaßluftflußmanagementsystem **10** in Verbindung mit einem turbogeladenen Dieselmotor gezeigt ist, ist das offenbarte System gleichfalls bei anderen supergeladenen bzw. überladenen Motoren nützlich, wie beispielsweise COMPREX-Motoren. Die Einlaßsammelleitung **14** ist mit einem Ende der Einlaßluftleitung **12** und einer Abgasrückführungsleitung **24** verbunden. Ein Einlaßdrucksensor **50** ist in der Einlaßsammelleitung gelegen und liefert Druckdaten an das elektronische Steuermodul **36**. Andere Sensoren, wie beispielsweise Temperatursensoren und (nicht gezeigte) Sauerstoffsensoren können auch innerhalb des Einlaßluftsystems vorgesehen werden und genauso mit dem elektronischen Steuermodul **36** gekoppelt werden. Zusätzlich können verschiedene andere Vorrichtungen wie beispielsweise Filter, Ventile, Betätigungsvorrichtungen, Bypass- bzw. Umgehungsleitungen usw. innerhalb des Einlaßluftsystems vorgesehen werden, obwohl diese nicht gezeigt sind. Irgendwelche solche Betriebskomponenten, wie beispielsweise Ventile und Betätigungsvorrichtungen werden vorzugsweise mit dem elektronischen Steuermodul **36** gekoppelt und arbeiten ansprechend auf ausgewählte Motorbetriebsparameter oder -zustände.

Das Abgassystem weist eine Abgassammelleitung **20** auf, die geeignet ist, um Abgase aufzunehmen, die aus jeder der Brennkammern **34** herausgetrieben werden, und es kann wie in **Fig. 1** veranschaulicht ein Abgasrückführungssystem aufweisen, welches die Abgasrückführungsleitung **24** aufweist, die mit dem Abgassystem über das Einlaßluftsystem des Motors verbunden ist, ein Abgasrückführungsventil **52**, einen Abgasrückführungskühler **26** und andere Elemente, die gewöhnlicherweise bei Abgasrückführungssystemen zu finden sind, wie beispielsweise Fallen, Filter, Umgehungsleitungen usw. Genauso weist das veranschaulichte Ausführungsbeispiel ein Nachbehandlungsuntersystem **30** auf, wie

beispielsweise ein Plasmakatalysesystem zur Verringerung von NOx-Emissionen.

Das Luftflußmanagementsystem **10** weist eine Einlaßlufttrennvorrichtung **60** auf, die innerhalb des Einlaßluftsystems des Motors angeordnet ist, welches zur Trennung eines Teils der Einlaßluft in einen Fluß von sauerstoffangereicherter Luft **62** und einen Fluß von stickstoffangereicherter Luft **64** geeignet ist. Das Luftflußmanagementsystem **10** weist weiter eine Leitung **60** für sauerstoffangereicherte Luft auf, über eine Schaltung, die sich von der Einlaßlufttrennvorrichtung **60** zu verschiedenen Sauerstoffeinleitungsstellen erstreckt, wie beispielsweise die Brennkammer **34**, während die Einlaßsammelleitung **14** umlüftet wird. Leitungen **67**, für sauerstoffangereicherte Luft können sich auch von der Einlaßlufttrennvorrichtung **60** zum Einlaßluftsystem (für zusätzlichen Sauerstoff) oder zum Auslaßsystem (zur Regeneration von Partikelfallen) erstrecken. Zusätzlich könnten Leitungen **68** für stickstoffangereicherte Luft oder Schaltungen, die sich von der Einlaßlufttrennvorrichtung **60** zum Einlaßluftsystem (anstelle des Abgasrückführungs- bzw. EGR-Gases) und/oder zum Nachbehandlungssystem **30** erstrecken, vorgesehen werden. Eine oder beide der Schaltungen für angereicherte Luft kann auch einen Luftraum **70** aufweisen oder eine andere Ansammlungs- vorrichtung, so daß die sauerstoffangereicherte Einlaßluft oder die stickstoffangereicherte Luft auf Verlangen zur entsprechenden Stelle eingespritzt werden kann. Wie in **Fig. 1** zu sehen, ist die Schaltung **66** für sauerstoffangereicherte Luft, die zu den Brennkammern führt, in Flußverbindung mit einem sauerstoffangereicherten Luftraum **70**. Zusätzlich weisen sowohl die Schaltungen **66**, **67** für sauerstoffangereicherte Luft genauso wie die Schaltungen **68** für stickstoffangereicherte Luft eine oder mehrere Flußsteuervorrichtungen oder Ventile **72**, **74** auf, die ansprechend auf die vom elektronischen Steuermodul **36** empfangenen Signale betätigt werden. Die innerhalb der Schaltung für sauerstoffangereicherte Luft gelegenen Ventile **72** steuern den Fluß von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer. Genauso steuern die innerhalb der Schaltungen für stickstoffangereicherte Luft gelegenen Steuerventile **74** den Fluß von stickstoffangereicherter Luft in die Abgasrückführungsleitung, das Nachbehandlungssystem oder beides. Jedes der Flußsteuerventile **72**, **74**, welches innerhalb der Schaltung für sauerstoffangereicherte Luft und der Schaltung für stickstoffangereicherte Luft gelegen ist, wird betriebsmäßig durch das elektronische Steuermodul **36** ansprechend auf ausgewählte Motorbetriebsparameter oder -zustände gesteuert.

Insbesondere wird Einlaßluft, die durch die Einlaßluftleitung **12** läuft durch eine Luftleitung **80** in eine Lufttrennvorrichtung **60** aufgeteilt. Die Lufttrennvorrichtung **60** hat eine Sauerstoffseite und eine Stickstoffseite. In **Fig. 1** verwendet die Lufttrennvorrichtung vorzugsweise eine selektiv durchlässige Trennmembran **82**, wie in den US-Patenten 5,649,517 (Poola und andere); 5,526,641 (Sekar und andere); 5,640,845 (Ng und andere) und 5,147,417 (Nemser) offenbart, um die Einlaßluft in getrennte Flüsse von sauerstoffangereicherter Luft (von der Sauerstoffseite) und stickstoffangereicherter Luft (von der Stickstoffseite) zu trennen. Alternativ wird in Betracht gezogen, daß die Lufttrennvorrichtung **60** einen Verwirbelungsseparator oder andere Lufttrennungsmittel aufweisen könnte.

Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ein Gebläse **86** in der Lufttrennleitung **80** angeschlossen, und zwar zwischen der Einlaßluftleitung **12**, und dem Einlaß der Lufttrennvorrichtung **60**, um durch Kraft die Einlaßluft zur Lufttrennvorrichtung **60** zu bewegen. Das elektronische Steuermodul **36** steuert betriebsmäßig das Gebläse. Eine Leitung **66**, **67** für sauerstoffangereicherte Luft tritt aus der Sauerstoffseite der

Lufttrennvorrichtung aus und tritt optional in eine Vakuumpumpe 90 ein. Das elektronische Steuermodul 36 steuert auch betriebsmäßig die Vakuumpumpe 90, falls sie verwendet wird. Ein optionaler Sauerstoffsensor ist in der Leitung für sauerstoffangereicherte Luft angeordnet, und zwar zwischen der Vakuumpumpe und der Lufttrennvorrichtung. Obwohl hier veranschaulicht wird, daß man ein Gebläse 86 und eine Vakuumpumpe 90 verwendet, wird in Betracht gezogen, daß das hier offenbarte Luftflußmanagementsystem einen Turboladerkompressor oder andere Antriebsmittel verwenden könnte, um die notwendige Druckdifferenz zu erzeugen, die gegenwärtig durch die Kombination des Gebläses 86 und der Vakuumpumpe 90 erzeugt wird.

Nach dem Austritt aus der Vakuumpumpe 90 steht die Leitung 66 für sauerstoffangereicherte Luft mit einer Sauerstoffsammelleitung oder einem Luftraum 70 in Verbindung. Ein Entlastungsventil 73 ist in oder nahe der Sauerstoffsammelleitung angeordnet, um ein übermäßiges Unterdrucksetzen zu verhindern. Jede Brennkammer 34 ist mit dem Sauerstoffluftraum 70 über eine Leitung 66 für sauerstoffangereicherte Luft verbunden. Der Fluß der sauerstoffangereicherten Luft zu jeder Brennkammer 34 wird mittels einem oder mehreren Sauerstoffschubventilen 92 oder ähnlichen solchen Flußsteuervorrichtungen gesteuert, wie die anderen Flußsteuervorrichtungen innerhalb des Systems betriebsmäßig durch das elektronische Steuermodul 36 gesteuert werden. Der auf die sauerstoffangereicherte Luft aufgebrachte Boost- bzw. Schubdruck muß ausreichend sein, um ein vorgeschriebenes Volumen von sauerstoffangereicherter Luft in jede Brennkammer 34 vorzugsweise spät im Verbrennungszyklus einzuspritzen.

Fig. 2 zeigt eine Ansicht einer Brennkammer 34 und eines Luftflußmanagementsystems 10 des oben beschriebenen und in Fig. 1 gezeigten Motors. Das offenbarte Ausführungsbeispiel zeigt einen Auslaßanschluß 93, ein Auslaßventil 94, einen Einlaßanschluß 95 und ein Einlaßventil 96 in einem Zylinderkopf 97 und einem Kolben 98. Zusätzlich hat der Zylinderkopf 97 einen Sauerstoffanschluß 99, um sauerstoffangereicherte Luft 62 entweder während des Einlaßhubes oder vorzugsweise spät im Verbrennungszyklus zu liefern. Der Sauerstoffanschluß 99 ist mit den Leitungen 66 für sauerstoffangereicherte Luft und mit der Sauerstoffseite der Luftflußtrennvorrichtung 60 gekoppelt. Die Leitungen 66 für sauerstoffangereicherte Luft, die mit jedem Zylinder assoziiert sind, weisen vorzugsweise Sauerstoffboost- bzw. Sauerstoffschubventile 92 auf, die zwischen dem Luftraum 70 und dem Sauerstoffanschluß in dem jeweiligen Zylinderkopf der Brennkammer 34 angeordnet sind. Während das vorliegende Ausführungsbeispiel den Sauerstoffanschluß 99 oben auf dem Zylinder zeigt, kann der Sauerstoffanschluß weiter unten an der Brennkammerwand 100 gelegen sein, um den Einfluß von den höheren Zylinderdrücken und -temperaturen zu erleichtern. Jedes Sauerstoffschubventil 92 wird von dem (nicht gezeigten) elektronischen Steuermodul 36 gesteuert und ist damit verbunden.

Mit Bezug auf Fig. 1 ist die Stickstoffseite der Lufttrennvorrichtung 60 mit dem Einlaßluftsystem und/oder der Einlaßsammelleitung 14 durch eine Leitung 68 für stickstoffangereicherte Luft verbunden. Ein (nicht gezeigter) optionaler Sauerstoffsensor ist in der Leitung 68 für stickstoffangereicherte Luft angeordnet. Der (nicht gezeigte) Sauerstoffsensor kann verwendet werden, um eine Eingangsgröße an das elektronische Steuermodul 36 zu liefern, um optional das Luftflußmanagementsystem 10 zu steuern. Eine zweite Leitung 68 für stickstoffangereicherte Luft verbindet die Stickstoffseite der Lufttrennvorrichtung 60 mit einer vorgeschriebenen Stelle in der Abgasleitung 22, um die Anwendung von stickstoffangereicherter Luft 64 innerhalb eines Nach-

behandlungsuntersystems 30 zu gestatten. Ein Stickstoffsteuerventil 74 ist in einer oder beiden der Leitungen 68 für stickstoffangereicherte Luft angeordnet, und ist betriebsmäßig mit dem elektronischen Steuermodul 36 verbunden und wird dadurch unter Verwendung von verschiedenen Steuerstrategien gesteuert.

Industrielle Anwendbarkeit

Die vorliegende Erfindung ist ein Luftflußmanagementsystem, welches wirkungsvoll die Anwendung von Sauerstoff und Stickstoff steuert, die in der Einlaßluft verfügbar sind. Das elektronische Steuermodul verwendet verschiedene Motorbetriebsparameter und wahlweise Sauerstoffkonzentrationen in der Einlaßluftleitung, in der Leitung für sauerstoffangereicherte Luft und den Leitungen für stickstoffangereicherte Luft, um die Verwendung von Sauerstoff und Stickstoff anzuordnen. Die Verwendung von sauerstoffangereicherter Luft sieht die Einleitung in den Motor als Verbrennungsluft für gesteigerte Leistung vor, die Einleitung in die Brennkammer spät im Verbrennungszyklus, um Partikelteilchen zu verringern, um Fallen für Partikelteilchen zu regenerieren, und für die Speicherung von sauerstoffangereicherter Luft in dem Luftraum für sauerstoffangereicherte Luft. Die Anwendungen von stickstoffangereicherter Luft sind beispielsweise die Einleitung in die Abgasleitung, die Einleitung in die Abgasrückführungsleitung oder die Einlaßsammelleitung, um als EGR-Gas bzw. Rückführungsabgas zu wirken, und die Einleitung in die Nachbehandlungsuntersysteme, wie beispielsweise ein nicht-thermisches Plasmakatalysesystem zur Verringerung von NOx-Emissionen.

Mit Bezug auf die Fig. 3 bis 7 sind verschiedene KIVA-Simulationen der Sauerstoffeinspritzung spät im Zyklus gezeigt. Insbesondere veranschaulicht Fig. 3 einen typischen Zylinderdruck gegenüber der Kurbelwellenwinkelposition zusammen mit der bevorzugten Region der Sauerstoffeinspritzung. Die Regel der Sauerstoffeinspritzung spät im Zyklus liegt vorzugsweise zwischen einer Kurbelwellenwinkelposition von 20° und 50° (wobei 0° der obere Totpunkt ist) und vorzugsweise bei einer Kurbelwellenwinkelposition von 25° und 40°. Genauso veranschaulicht Fig. 4 eine typische Zylindertemperatur gegenüber der Kurbelwellenwinkelposition, die das gleiche Sauerstoffeinspritzprofil spät im Zyklus veranschaulicht. Wie dort zu sehen ist die Dauer der Sauerstoffeinspritzung zwischen ungefähr 5° und 20° der Kurbelwellenwinkelbewegung und insbesondere vorzugsweise ungefähr bei 15° der Kurbelwellenwinkelbewegung. Betrachtungen im Betrieb schlagen vor, daß die Sauerstoffeinspritzung auftritt, wenn die Zylinderdrücke bei ungefähr 10 MPa oder weniger sind, obwohl es durchführbar sein mag, den Sauerstoff bei höheren Drücken mit einer geeigneten Einspritzvorrichtung einzuspritzen, wie beispielsweise einer Einspritzvorrichtung, die zur getrennten Einspritzung von Hochdruckbrennstoff und sauerstoffangereicherter Luft spät im Zyklus fähig ist.

Fig. 5 ist eine graphische Darstellung des NOx-Gehaltes innerhalb eines Zylinders gegenüber der Kurbelwellenwinkelposition, die die allgemeine Bildung von NOx innerhalb des Zylinders veranschaulicht. In ähnlicher Weise ist Fig. 6 eine graphische Simulation des Rußgehaltes innerhalb des Zylinders gegenüber der Kurbelwellenwinkelposition, und Fig. 7 ist eine graphische Simulation des Brennstoffes, der in den Zylinder eingespritzt und darin verbrannt wird gegenüber der Kurbelwellenwinkelposition. Diese letzteren Kurven Darstellungen zeigen, daß der Rußgehalt insbesondere merklich bei der Einspritzung von sauerstoffangereicherter Luft während eines späteren Teils des Verbrennungszyklus

ses sinkt. Zusätzlich nähert sich die innerhalb des Zylinders verbrannte Brennstoffmenge nahe der Brennstoffmenge, die nach der zusätzlichen Einspritzung von sauerstoffangereicherter Luft innerhalb des Zylinders zur vorgeschriebenen Zeit und für eine vorgeschriebene Dauer eingespritzt wird.

Genau gesagt ist die Anwendung von sauerstoffangereicherter Luft, die in den Zylinder während des Expansionshubes eingespritzt oder anders eingeleitet wird, vorteilhaft während Motorbetriebszuständen, die typisch für einen hohen Ausstoß von Partikelteilchen und Ruß sind. In ähnlicher Weise ist die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Einlaßsammelleitung oder den Einlaßluftkreis oder auch als Anwendung zur Regenerierung der Partikelteilchenfallen insbesondere von Vorteil während ausgewählter Bereiche des Motorbetriebs. Die Verwendung von stickstoffangereicherter Luft als ein inertes Gas im Einlaß oder als eine Nachbehandlungshilfe ist auch insbesondere vorteilhaft bei ausgewählten Betriebszuständen (d. h. Motordrehzahlen, Motorbelastung, Abgastemperaturen, usw.).

Aus dem Vorgegangenen ist zu sehen, daß die offenbarte Erfindung ein Luftflußmanagementsystem für einen Verbrennungsmotor ist, welches die Erzeugung und die Verwendung von sauerstoffangereicherter Luft und stickstoffangereicherter Luft vorsieht, um Motorpartikelteilchen und NO_x zu verringern, und für eine gesteigerte Motorleistung. Von spezieller Wichtigkeit ist die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer während der späteren Stufen des Verbrennungszyklus. Während die hier offenbarte Erfindung mittels spezieller Ausführungsbeispiele und Prozesse beschrieben worden ist, die damit assoziiert sind, könnten zahlreiche Modifikationen und Variationen daran vom Fachmann vorgenommen werden, ohne vom Umfang der Erfindung abzuweichen, wie er in den Ansprüchen dargelegt wird.

Patentansprüche

1. Luftflußmanagementsystem für einen Verbrennungsmotor, wobei der Motor eine Einlaßsammelleitung und mindestens eine Brennkammer hat, ein Einlaßluftsystem, welches zur Lieferung von Einlaßluft an die Einlaßsammelleitung und die Brennkammer geeignet ist, und ein Auslaßsystem geeignet zum Transport von Abgasen aus der Brennkammer, wobei das Luftflußmanagementsystem folgendes aufweist:
 - eine Einlaßlufttrennvorrichtung, die innerhalb des Einlaßluftsystems angeordnet ist und geeignet ist, um einen vorgeschriebenen Teil der Einlaßluft in einen Fluß von sauerstoffangereicherter Luft und einen Fluß von stickstoffangereicherter Luft zu trennen;
 - eine Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft, die sich von der Einlaßlufttrennvorrichtung zur Brennkammer erstreckt, während sie die Einlaßsammelleitung umgeht;
 - eine Flußsteuervorrichtung, die entlang der Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft angeordnet ist, wobei die Flußsteuervorrichtung geeignet ist, um sauerstoffangereicherte Luft aus der Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft in die Brennkammer einzuleiten; und
 - eine Steuervorrichtung, die betriebsmäßig mit der Flußsteuervorrichtung gekoppelt ist und geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät in einem Verbrennungszyklus zu steuern, und zwar ansprechend auf ausgewählte Motorbetriebszustände.
2. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 1, wobei die Einlaßlufttrennvorrichtung weiter folgendes

aufweist:

einen Einlaßlufteinlaß;

eine selektiv permeable bzw. durchlässige Membranvorrichtung in Flußverbindung mit dem Einlaßlufteinlaß, wobei die selektiv durchlässige Membran geeignet ist, um Stickstoff von der Einlaßluft abzutrennen, die beim Einlaßlufteinlaß aufgenommen wird, und stickstoffangereicherte Luft bei einem ersten Auslaß und sauerstoffangereicherte Luft bei einem zweiten Auslaß zu erzeugen;

einen Einlaßluftantrieb, der betriebsmäßig mit der selektiv durchlässigen Membranvorrichtung verbunden ist und geeignet ist, um kräftig die beim Einlaßlufteinlaß aufgenommene Einlaßluft durch die selektiv durchlässige Membranvorrichtung zu leiten.

3. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 1, wobei die Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft weiter folgendes aufweist:

eine Leitung für sauerstoffangereicherte Luft, die sich von der Einlaßlufttrennvorrichtung zur Brennkammer erstreckt;

einen Sauerstoffflußraum, der entlang der Leitung für sauerstoffangereicherte Luft angeordnet ist, wobei der Flußraum geeignet ist, um eine vorgeschriebene Menge der sauerstoffangereicherten Luft anzusammeln; und wobei die Flußsteuervorrichtung entlang der Leitung für sauerstoffangereicherte Luft zwischen dem Flußraum und der Brennkammer angeordnet ist.

4. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 1, wobei die Steuervorrichtung geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer zu steuern, und zwar bei einem Kurbelwellenwinkel zwischen ungefähr 20° und 120°.

5. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 1, wobei die Steuervorrichtung geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer zu steuern, und zwar bei einem Kurbelwellenwinkel zwischen ungefähr 20° und 50° nach dem oberen Totpunkt.

6. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 1, wobei die Steuervorrichtung geeignet ist, um die Dauer zu steuern, für die die sauerstoffangereicherte Luft in die Brennkammer eingeleitet wird, und zwar zwischen ungefähr 5° und 20° der Kurbelwellenwinkelbewegung.

7. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 1, wobei die Steuervorrichtung geeignet ist, um die Einleitung der sauerstoffangereicherten Luft in die Brennkammer ansprechend auf die Motordrehzahl und die Motorbelastung zu steuern.

8. Verfahren zur Verringerung von Partikelemissionen aus einem Verdichtungsgezündeten Motor, wobei der Motor eine Einlaßsammelleitung und mindestens eine Kolbenanordnung besitzt, die innerhalb eines Zylinders bewegbar ist, um eine Brennkammer zu bilden, ein Einlaßluftsystem, welches geeignet ist, um Einlaßluft an die Einlaßsammelleitung und die Brennkammer zu liefern, und ein Auslaß- bzw. Abgassystem, welches geeignet ist, um Abgase aus der Brennkammer abzutransportieren, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Bewegung der Kolbenanordnung im Zylinder, um das Volumen der Brennkammer zu vergrößern und eine Ladung von Einlaßluft aus der Einlaßsammelleitung in die Brennkammer einzuleiten;

Bewegung der Kolbenanordnung im Zylinder, um die Ladung der Einlaßluft in der Brennkammer zu komprimieren;

Einleitung von Brennstoff in die Brennkammer und

Zündung der Mischung aus Brennstoff und der Ladung von komprimierter Einlaßluft, um ein expandierendes Abgas innerhalb der Brennkammer zu bilden;
 Einleitung einer Ladung von zusätzlicher sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät in einem 5
 Verbrennungszyklus nach der Zündung der Mischung des Brennstoffes und der Ladung von komprimierter Einlaßluft, wobei die Ladung der zusätzlichen sauerstoffangereicherten Luft mit den Abgasen reagiert, die 10
 innerhalb der Brennkammer vorhanden sind, um Abgase mit verringertem Partikelgehalt zu bilden; und Bewegung der Kolbenanordnung im Zylinder, um die Abgase mit dem verringertem Partikelgehalt aus der Brennkammer zum Auslaßsystem herauszudrücken.
 9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Schritt der 15
 Einleitung der Ladung von zusätzlicher sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät im Verbrennungszyklus weiter folgende Schritte aufweist:
 Bildung einer Versorgung von sauerstoffangereicherter 20
 Luft unter Verwendung einer Einlaßlufttrennvorrichtung;
 Steuerung der Zeit und des Volumens, wenn die sauerstoffangereicherte Luft in die Brennkammer eingeleitet wird, und zwar ansprechend auf ausgewählte Motorbetriebszustände; und 25
 Einleitung des vorgeschriebenen Volumens von zusätzlicher sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer zu der vorgeschriebenen Zeit, wobei die Ladung der zusätzlichen sauerstoffangereicherten Luft mit den Abgasen reagiert, die innerhalb der Brennkammer vor- 30
 handen sind, um Abgase mit verringertem Partikelgehalt zu bilden.
 10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Einleitung der Ladung von zusätzlicher sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer während der Expansion bei 35
 einem Kurbelwellenwinkel zwischen ungefähr 20° und 50° geschieht.
 11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Einleitung der Ladung von zusätzlicher sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer während eines vorgeschriebenen Zeitintervalls auftritt, der zwischen ungefähr 5° 40
 und 20° der Kurbelwellenwinkelbewegung entspricht.
 12. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das vorgeschriebene Volumen der Ladung von zusätzlich sauerstoffangereicherter Luft, die in die Brennkammer eingeleitet wird, ansprechend auf die Motordrehzahl und 45
 die Motorbelastung variiert.
 13. Luftflußmanagementsystem für einen Verbrennungsmotor, wobei der Motor eine Einlaßsammelleitung und mindestens eine Brennkammer hat, weiter ein 50
 Einlaßluftsystem, welches zur Lieferung von Einlaßluft an die Einlaßsammelleitung und die Brennkammer geeignet ist, und ein Auslaß- bzw. Abgassystem, welches zum Transport der Abgase aus der Brennkammer geeignet ist, wobei das Luftflußmanagementsystem 55
 folgendes aufweist:
 eine Quelle von sauerstoffangereicherter Luft;
 ein Flußkreis bzw. eine Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft, die sich von der Quelle von sauerstoffangereicherter Luft zur Brennkammer erstreckt, wäh- 60
 rend sie die Einlaßsammelleitung umgeht;
 eine Flußsteuervorrichtung, die entlang der Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft angeordnet ist, wobei die Flußsteuervorrichtung geeignet ist, um sauerstoffangereicherte Luft aus der Schaltung bzw. dem 65
 Kreis für sauerstoffangereicherte Luft in die Brennkammer einzuleiten; und
 eine Steuervorrichtung, die betriebsmäßig mit der

Flußsteuervorrichtung gekoppelt ist und geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer spät im Verbrennungszyklus zu steuern, und zwar ansprechend auf ausgewählte Motorbetriebszustände.

14. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 13, wobei die Quelle von sauerstoffangereicherter Luft weiter eine Einlaßlufttrennvorrichtung aufweist, die innerhalb des Einlaßluftsystems angeordnet ist und geeignet ist, um einen vorgeschriebenen Teil der Einlaßluft in einem Fluß von sauerstoffangereicherter Luft und von stickstoffangereicherter Luft aufzuteilen, und wobei die Flußschaltung für sauerstoffangereicherte Luft sich von der Einlaßlufttrennvorrichtung zur Brennkammer erstreckt, während die Einlaßsammelleitung umgangen wird.

15. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 14, wobei die Einlaßlufttrennvorrichtung weiter folgendes aufweist:

einen Einlaßluftereinlaß;

eine selektiv permeable bzw. durchlässige Membranvorrichtung in Flußverbindung mit dem Einlaßluftereinlaß, wobei die selektiv durchlässige Membran geeignet ist, um Stickstoff von der Einlaßluft abzutrennen, die beim Einlaßluftereinlaß aufgenommen wurde, und stickstoffangereicherte Luft bei einem ersten Ausgang und sauerstoffangereicherte Luft bei einem zweiten Ausgang zu erzeugen;

einen Einlaßluftantrieb, der betriebsmäßig mit der selektiv durchlässigen Membranvorrichtung verbunden ist und geeignet ist, um kräftig die beim Einlaßluftereinlaß aufgenommene Einlaßluft durch die selektiv durchlässige Membranvorrichtung zu leiten.

16. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 13, wobei die Steuervorrichtung geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer zu steuern, und zwar bei einem Kurbelwellenwinkel zwischen ungefähr 20° und 50°.

17. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 13, wobei die Steuervorrichtung geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer während eines vorgeschriebenen Intervalls von zwischen ungefähr 5° und 20° Kurbelwellenwinkelbewegung zu steuern.

18. Luftflußmanagementsystem nach Anspruch 13, wobei die Steuervorrichtung geeignet ist, um die Einleitung von sauerstoffangereicherter Luft in die Brennkammer ansprechend auf die Motordrehzahl und die Motorbelastung zu steuern.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

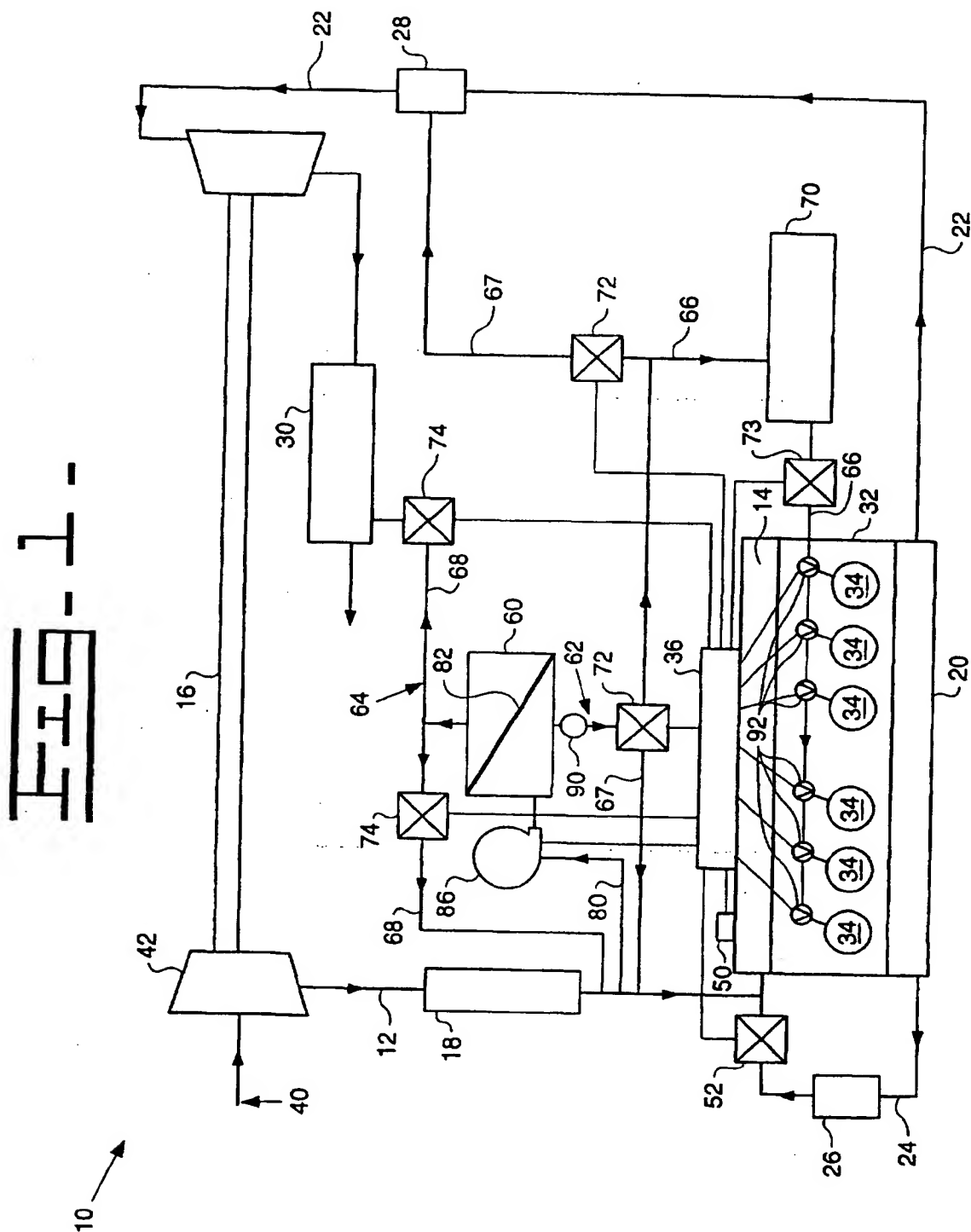


FIG. 2.

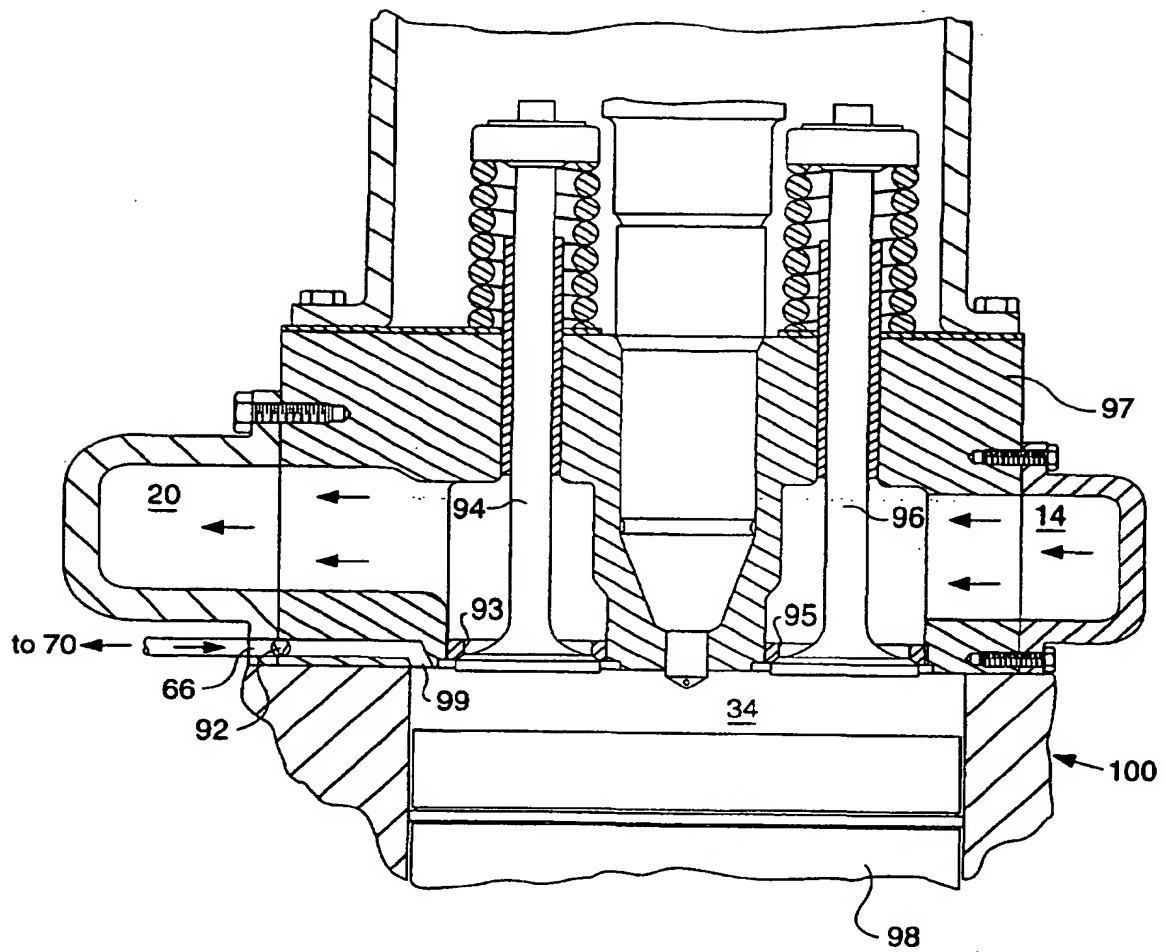


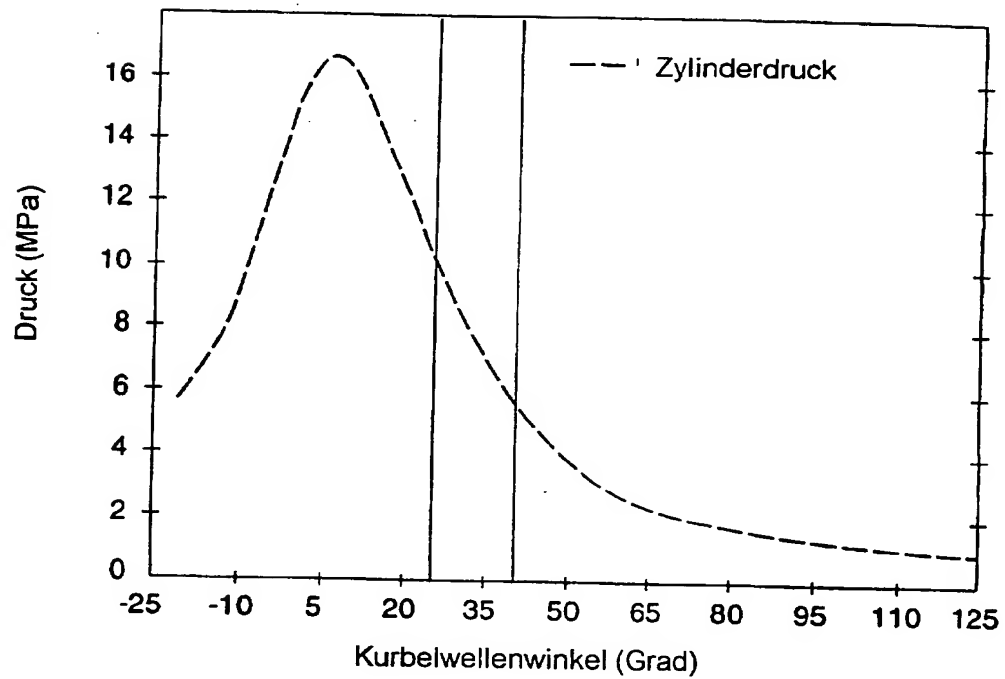
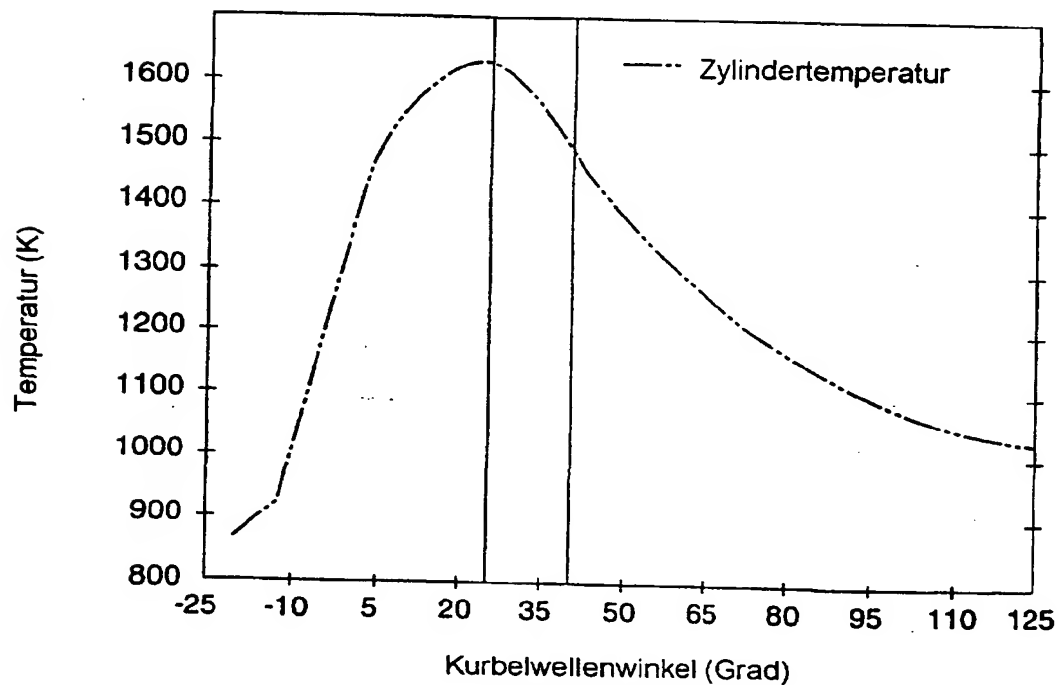
FIG - 3 -**FIG - 4 -**

FIG. 5

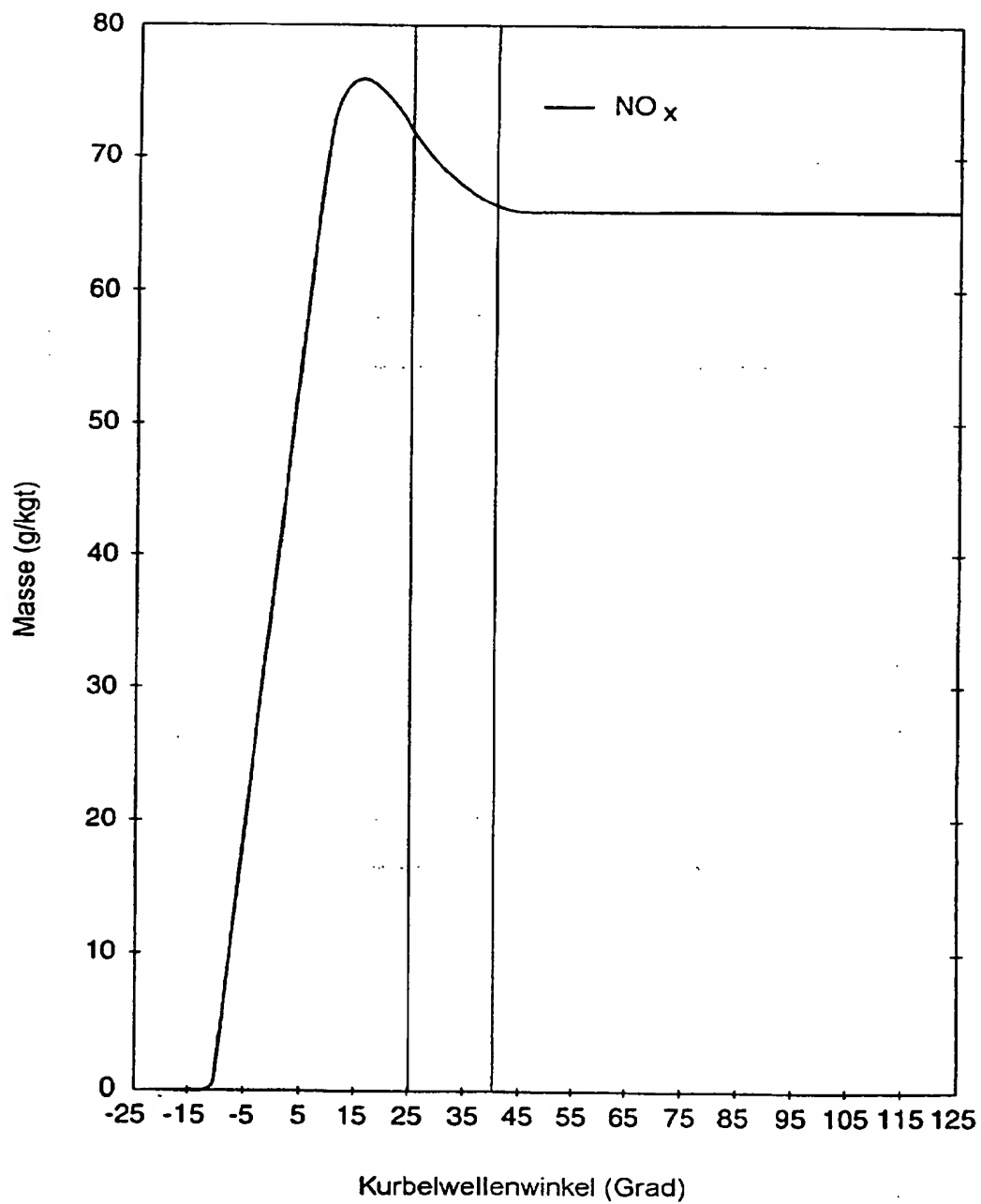
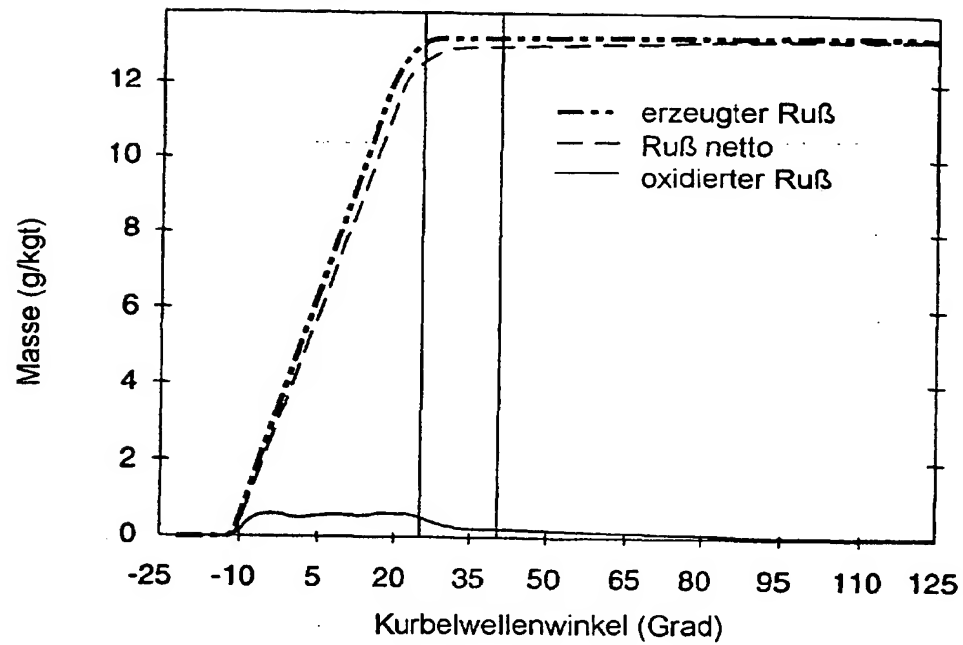


Fig. 6**Fig. 7**